

学 位 論 文 要 旨

土砂災害におけるリスクコミュニケーションの 脆弱性とリスク可視化技術に関する研究

A study on weakness of the risk communication in geo-disaster
and suggestion of the risk visualization information system

金沢大学自然科学研究科
環境科学専攻

石 塚 久 幸

Abstract

In this article, I clarified weakness of the dispatch information in geo-disaster, the weakness of the decision making process of the inhabitants who received information by the local government and the questionnaire survey to the inhabitants whom I suffered from and was intended to find trigger to improve a refuge rate.

For trigger, it is said that many inhabitants want "the change of the risk of the self" as information. It was the answer to local government, but it was too extensive, and an answer that there were the supplement data which considered an area characteristic was seen so that official announcement really applied refuge information in the earth and sand disaster caution information to become the ground of the refuge information dispatch in geo-disaster.

Therefore, in this study, I carried out an experiment to visualize a risk change by using the cheap, simple system which used a capacitance-type hydrograph, water meter highly precise as an experiment field in a real geo-disaster caution area, a general slope stability analysis tool and inspected the progress and system.

By the experiment, I collected data to identify plasticities of the reactivity of hydrograph data, measurement water level and the actual survey water level as the rain. By the data which I gathered about for half a year, I reacted about the water level change caused by the rain relatively subtly, and the utility of the hydrograph was inspected.

After explaining the summary of the experiment by local explanation, the disclosure of data is called for by the ground incarnation of the caution area concerned and adjacent inhabitants, and expectation for the information is indicated. By this experiment, I was able to plan improvement of the information acquisition consciousness of inhabitants, improvement of the disaster prevention consciousness for geo-disaster at the point of view called the aggressive approach to interest in data = risk information.

1. 研究の背景と目的

我が国は、国土の70%が山地，丘陵地で形成されており，農地を確保するため，平野部と丘陵地の境界付近に多くの人々が住居を構えている．温帯地域に属する我が国固有の気象環境と脆弱な地質構造も重なり，台風や梅雨，秋雨等の降雨に伴う土砂災害による被害が後を絶たない．図-1.1に示すように平成16年から25年の至近10箇年では，毎年1，000件あまりの土砂災害が発生し，表-1.1に示すとおり毎年のように死者・行方不明者が発生している．

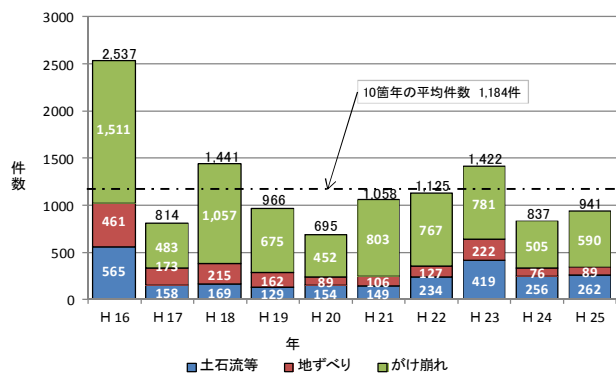


表-1.1 至近10箇年の死者・行方不明者数

	H16	H17	H18	H19	H20
死者・行方不明者(人)	62	30	25	0	20
	H21	H22	H23	H24	H25
死者・行方不明者(人)	22	11	85	24	53

図-1.1 至近10箇年の土砂災害発生件数

「災害対策基本法」をはじめ「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（以下，土砂災害防止法）などで，土砂災害に対するハード，ソフト両面から，災害対策施策が講じられている，また，昨今の大規模土砂災害の発生に伴い，土砂災害警戒情報・土砂災害メッシュ情報などの重要性が増しているものの，その情報を運用する市町村での防災対応力が大きな課題となっている．また，既往の研究では，住民の行動心理として正常化の偏見等によって“災害など起きない”といった誤った認識によって行動が支配され，避難率が上がらないとされている．

本研究では，市町村の防災対策の実態，災害対策運用上の課題を明らかにするとともに，実際に災害に遭った地域で，避難勧告・避難指示等の避難情報によってどのように行動し，そのための意思決定を行ったかを明らかにする．また，その結果を踏まえ，特に避難しなかった住民の意見から，避難行動を惹起するトリガーとなるべき情報を明らかにし，住民の避難行動を促進するために発信すべき“最も必要としている情報とタイミング”について提案を行い，将来的な避難情報発信に具体性を持たせ，その結果，避難率が向上することを目的とする．

2. 被災住民アンケートから見える正常化の偏見とその解決策

2.1 アンケートの概要

(1) アンケートの概要と目的

実際に豪雨被害を経験した那智勝浦町で住民アンケート調査を実施した。アンケートの対象者は、台風12号に伴って避難勧告・指示が発令された地域で実施した。

アンケートの目的は、1) 土砂災害事前情報の認知度、2) 避難情報の入手手段、3) 避難行動の有無、4) 避難行動を起こすために必要な情報や環境、3) 住民の避難行動の概要、コントロール状況などを把握することである。

(2) アンケートの回収状況と信頼性

回収状況を表-2.1 に示す。

区長をはじめとする自治会役員の協力もあり、非常に高い回収率となった。

今回実施したアンケート結果が、避難を必要とした対象地域住民のトレンドとして有効であることを確認するため、その信頼性評価を行った結果、目標精度 5%以内であることを確認。

表-2.1 アンケート回収率

対象世帯数	配布世帯数 a	回答数 b	回答率 a/b (%)
1,515	1,100	776	70.5%

$$n \geq \frac{N}{\left(\frac{e}{k}\right)^2 \frac{N-1}{\pi(1-\pi)} + 1} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

n：必要標本数 N：母集団の大きさ e：目標精度(誤差) α：信頼率
π：母比率 k：信頼率に対応する標準正規分布の%点

とする。

2.2 アンケート調査結果の整理と分析

住民アンケートの結果を、(1) 災害事前情報の知悉度、(2) 災害情報の受信状況、(3) 避難行動の有無と動機、(4) 住民の防災意識についてまとめた。

(1) 災害事前情報の知悉度

土砂災害防止法が施行された後、都道府県による砂防基礎調査により、従来の危険箇所が、所定の判定ルールに基づき崩壊範囲、影響範囲が定量的に示され、土砂災害（特別）警戒区域として公示され始めた。那智勝浦町では、アンケートを実施した当時（平成 24 年 5 月 25 日現在）206 箇所の土砂災害警戒区域が指定・公示されており、現在は 304 箇所に増加している。

図-2.1 に示すとおり、身近に土砂災害警戒区域がある、もしくは確実にないことを知っている住民は、全体の約 60%程度で、35%の住民は、あるかどうか知らない状況であった。アンケート回収時に各区長に聞くと、河川氾濫や海岸部での海面上昇などによる内水氾濫は経験があるものの、急傾斜地の崩壊、土石流などについて危険だという認識はほとんどなかったという意見が大勢を占めた。警戒区域の認知度は、ハザードマップ等がないため“目視”、“過去の経験”などと回答した方が多くみられた。

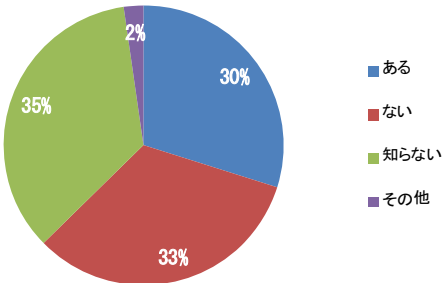


図-2.1 身近な危険箇所（警戒区域）の有無に関する知悉度

(2) 災害情報の受信状況

那智勝浦町から発信された避難勧告・避難指示の周知状況は、図-2.2 に示すとおり約 9 割の住民が避難勧告・避難指示が発令されてことを認識していた。那智勝浦町地域防災計画（第 6 節 災害広報計画）では、防災行政無線、有線放送をはじめ様々な手段、媒体で発信を行うことを定めており、アンケートの結果ほとんどの住民がいずれかの情報で、避難勧告・避難指示を周知していた。住民の情報入手手段としては、図-2.3 に示すとおり、防災行政無線、テレビが最も多く、それぞれ回答の半数を占める。防災行政無線は、降雨中などは聞こえにくいという意見もあるが、本調査で有効な伝達手段であることが検証された。

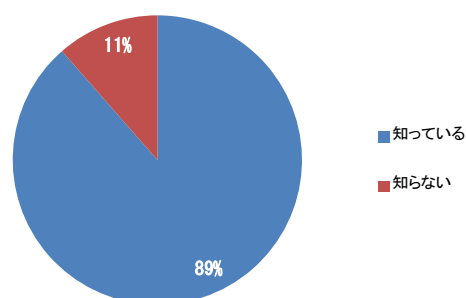


図-2.2 台風 12 号に伴う避難情報の把握状況

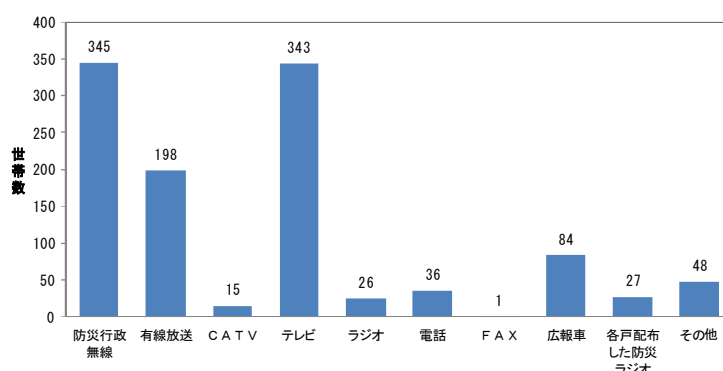


表-2.3 避難情報入手手段（複数回答）

(3) 避難行動の有無と動機

当時の避難行動について調査した結果を示す。図-2.4 に示すとおり、避難勧告・避難指示を受けて避難した世帯が 34%、避難しなかった世帯が 56%、避難したかったが出来なかった世帯が 8%であった。

「逃げた」を選択した回答者に避難したタイミングをたずねたところ、図-2.5 に示すとおり避難情報前の自主避難が最も多く、次いで避難勧告に従う形で避難した人が多くなっている。

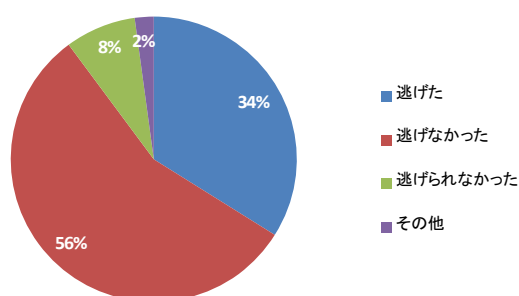


図-2.4 台風 12 号時の避難行動

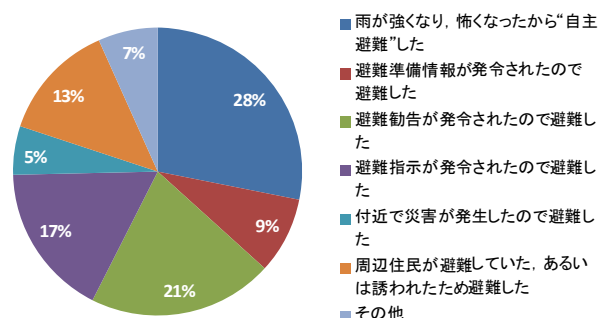


図-2.5 実際に避難したタイミング

次に「逃げなかった」を選択した回答者に避難しなかった理由を尋ねたところ、図-2.6 に示すとおり、「周囲に警戒区域があるにも関わらず安全である」と考えている人が全体の 3 割を超えており、「周囲の状況にかかわらず土砂災害など起きない」と考えている方を加えると約 6 割の方が「災害など起きない」と考えていたことがわかる。「逃げなかった」と意思決定した住民を、今後避難させることが最も重要なことであることから、「逃げなかった」を選択

した回答者に避難を意思決定するためにどのような情報が必要かを尋ねた。図-2.7に示すとおり、どんな場合でも避難しないという方は、12名（3%）程度であり、ほとんどの方が、何らかの条件が整えば避難を検討することが確認できた。

避難情報への信頼性や、災害など起きないと考える人が多い中、自身の被災リスクがどの程度か具体的に示されると避難するという方が187名（44%）もおり、周辺リスクに対する的確な情報を欲していることがわかった。次いで、周囲に土砂災害警

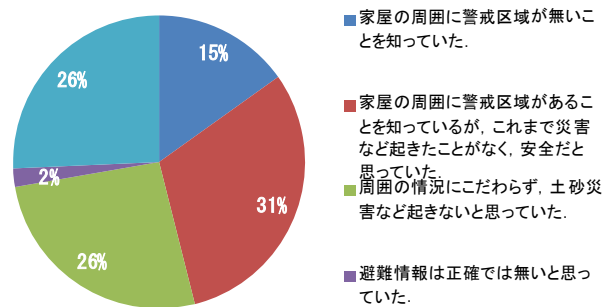


図-2.6 逃げなかった理由

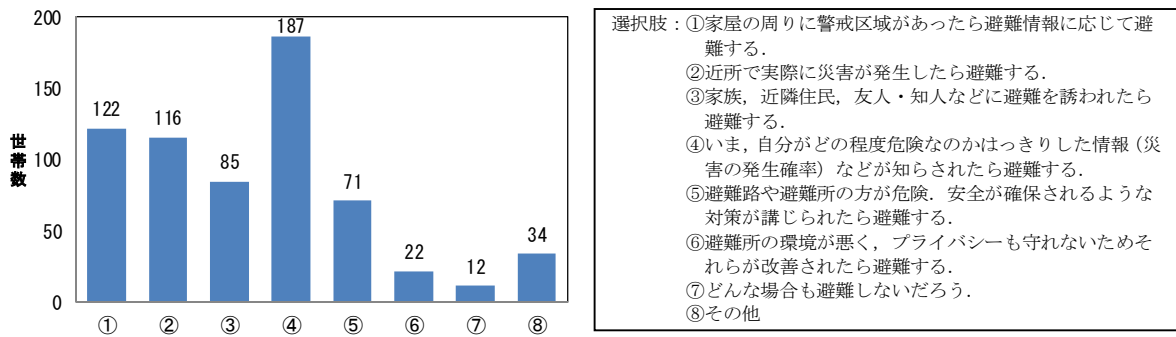


図-2.7 逃げるための条件（複数回答）

戒区域がある場合、避難情報によって避難するという方が122名（29%）いる。前述した危険箇所（警戒区域）を知らないと回答した259名のうち、141名が避難しておらず、その内の多くの方が、警戒区域等の情報を欲していることがわかった。

以上から、住民アンケートでは、逃げなかった方に逃げてもらうためには、(1)周辺に警戒区域等の有無を明らかにする、(2)降雨等による斜面の崩壊リスクを明らかにすることが避難率向上のために必要であることが明らかとなった。

3. 市町村へのアンケートから判明した情報発令判断の課題

3.1 アンケート調査の概要と目的

(1) アンケートの概要と目的

土砂災害の情報については、気象庁や県などが、比較的広域かつグローバルな情報を提示し、市町村が地域住民に対する避難行動の促進を目的とした情報を発信している。本研究では、発信される情報の内容・手段・時期に内包する課題を抽出するためのアンケートを実施した。アンケートは、平成24年6月～9月にかけて行い、九州をはじめとする西日本の市町村833団体を対象に配布した。

(2) 回収状況と信頼性

回収状況は、表-3.1 に示すとおり全体で 387 市町村、47.0%の回収率である。

調査は西日本の市町村を対象としているが、全国的な意向確認という意味で、有限母集団を日本の全 1,719 市町村とし、信頼性を確認する。信頼性の評価は、住民アンケート同様、

調査は西日本の市町村を対象としているが、全国的な意向確認という意味で、有限母集団を日本の全 1,719 市町村とし、信頼性を確認する。信頼性の評価は、住民アンケート同様、式(1)で行う。目標精度(誤差)を 5%とした場合必要標本数は 315 市町村となり、アンケートの回答数は 387 市町村であったため、アンケートの信頼性は得られたと考える。

表-3.1 アンケート回収率

地 域	中部 北陸	近畿	中国	四国	九州	不明	計
対象市町村数 a	200	198	107	95	223	-	823
回 収 数 b	126	77	43	26	76	39	387
回 収 率 b/a	63.0%	38.9%	40.2%	27.4%	34.1%	-	47.0%

3.2 アンケート調査結果の整理

(1) 災害事前情報の周知状況

土砂災害防止法が施行され、都道府県による砂防基礎調査により、定性的に示されていた従来の危険箇所が所定の判定ルールに基づき崩壊範囲、影響範囲等が定量的に示され、土砂災害防止法の定めにより、土砂災害(特別)警戒として公示、土砂災害ハザードマップによる周知が進んでいる。全国で 525,307 箇所¹⁾のうちアンケート調査実施当時(平成 25 年 3 月 31 日現在)で約 59%, 309,539 箇所²⁾が公示されているが、土砂災害ハザードマップは、図-3.1 に示すとおり、既に 65%の市町村で作成されており、積極的に土砂災害警戒区域の周知が進められている。

次に、被災住民を対象としたアンケートで

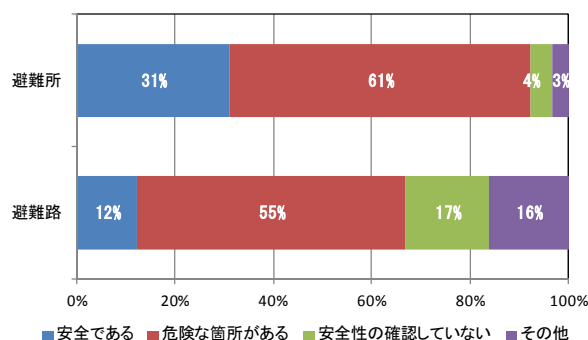
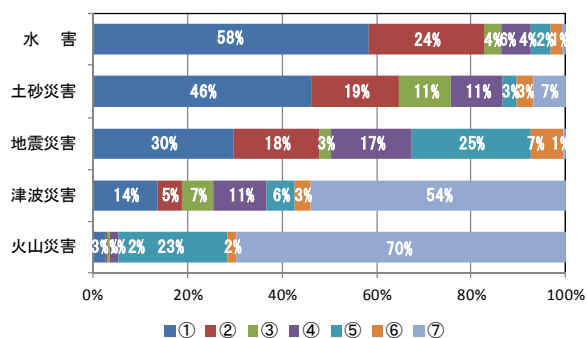


図-3.2 避難所・避難路の安全性の認識



選択肢：①作成し、住民に配布。災害時の留意事項を、地域の代表(区長、町会長、防災リーダーなど)を通じて周知説明した。
②作成し、住民に配布したが、説明はまだである。
③ハザードマップを作成中である。
④ハザードマップの作成を検討している。
⑤特に何もしていない。
⑥その他
⑦該当地域がない

※1 地震：震度マップ、揺れやすさマップ、液状化危険度など
※2 津波：地盤標高マップを含む

図-3.1 ハザードマップの整備状況

は、避難所・避難経路に対する不安感が避難行動を抑制することが確認されたが、各市町村では、避難所の安全性をどのように認識しているかを整理する。回答いただいた全ての市町村で避難所が指定されており、避難所・避難経路の安全性については、図-3.2 に示すように、回答いただいた市町村の約 2/3 で危険

な避難所があることが認識されている。

(2) 災害時の初動対応・情報伝達

実際に災害発生危険性が高まった、あるいは、実際に災害が発生した場合の初動期における行動が極めて重要になる。平成17年に内閣府により作成された「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」³⁾に基づき、各市町村では、避難勧告等発令マニュアルなどが作成されている。アンケートで、災害が発生もしくは発生の恐れが高まった場合、市町村が発令すべき避難勧告・避難指示の発令基準を作成しているかを確認した。図-3.3に示すとおり、作成中までを含めても51%で、残りの半数の市町村については、迅速な避難情報の発

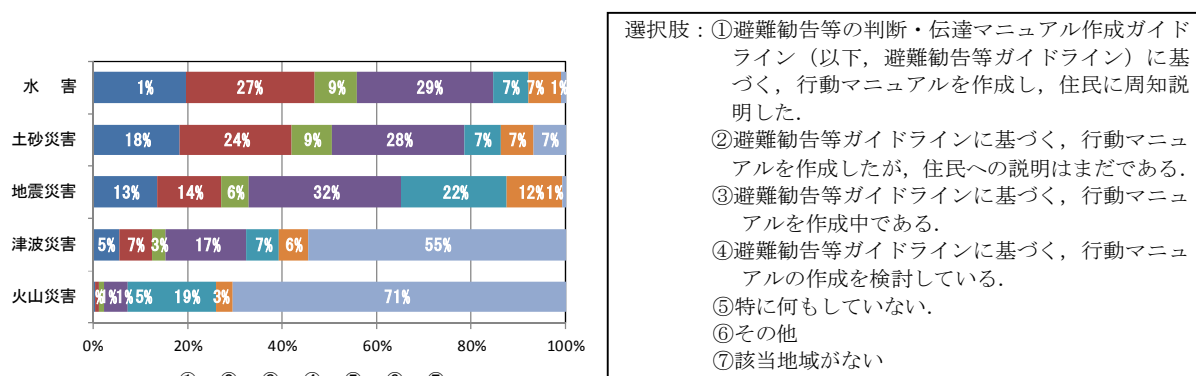


図-3.3 避難情報発令基準の整備状況

令ができないものとする。また、避難勧告・避難指示等の発令基準が住民に示されている市町村は、わずか18%で、住民の多くは、災害発生リスクの状況を知らず、情報への信頼性が避難判断を左右する状況である。

実際に、避難勧告等を発令しようとした場合の判断材料として、多くの市町村で、降雨情報（積算雨量、時間雨量）を中心的な情報とし、それ以外に、気象庁と都道府県から発表される土砂災害警戒情報などがある。先にも述べたとおり、範囲が広く、地域的な特徴が反映されないなどの問題はあつたものの、図-3.4に示すとおり、6割の市町村で、勧告等の発令基準として活用している。土砂災害警戒情報は、土砂災害の危険性が高まった場合において、市町村の避難情報の発令をサポートするための情報として位置づけられており、土砂災害警戒情報とともにスネークグラフと土砂災害メッシュ情報も併せて提供されている。しかし、調査の結果、スネークグラフの存在を認識していない、都道府県等から提供を受けていない等、また、スネークグラフやメッシュ情報の見方がわからない、広範囲で地域判断が難しい、情報が曖昧で不正確、などの回答から、有効な判断材料という認識がありながら、その信用性には懐疑的な一面があることもわかつた。

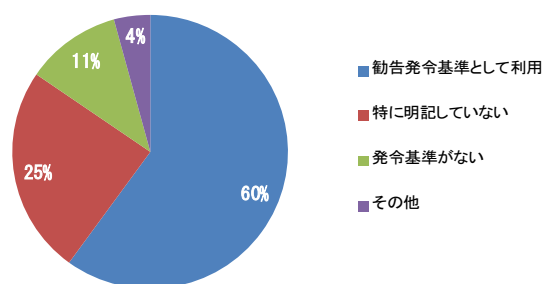
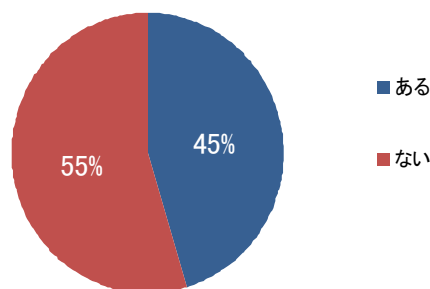


図-3.4 土砂災害警戒情報の利用状況

その他の判定指標としては、雨量情報、災害の前兆現象、住民情報などが土砂災害警戒情報よりも活用度が高く、各市町村が、地域的な情報を重要視していることが確認できた。

避難勧告、避難指示の発令については、図-3.5 に示すとおり半数以上の市町村で土砂災害に対する発令経験がないことがわかった。発令経験のある自治体でも、多くが避難勧告までで、避難指示に関しては、51 団体であり全体の 13%程度である。その理由を自由意見から分析すると、「経験がない」、「人員が少ない」、「異動で職員スキルが上がらない」などである。

以上のように、市町村は、避難情報の発令マニュアルをもちながら、気象情報（注意報・警報）、土砂災害警戒情報だけで機械的に発令することを躊躇し、実際にはパトロールや、住民からの通報などのローカルな情報による判断が優先されていることがわかった。また、そのために、事後発令になりやすい環境であることも明らかになった。



（調査期間：平成 15 年 4 月から至近 10 カ年）

図-3.5 避難勧告・指示発令経験の有無

4. 住民避難率の向上、避難情報発令判断を補完する

土砂災害リスク情報システムの検証

4.1 はじめに

被災住民アンケートと市町村アンケートから、市町村では避難情報を発令するための補完情報として地域限局の災害リスク情報が求められており、住民からは、周囲の災害リスクの変動を情報として求めている。市町村では、これをパトロール等で実践しているが、人員など負担が大きい。住民についても前兆現象を周知しているものの豪雨の中、斜面を検索するには危険も伴うため、本研究では、インターネット等で容易に情報を取得できる土砂災害発生リスクを可視化するシステムの構築を行った。

4.2 実証実験の概要

(1) システムの概要

本研究で構築するシステムは、図-4.1 に示すように、水位計・水分計の各センサー情報をインターネット回線を利用し、大学へ転送。計測された水位や土壌水分量等をリアルタイムでインターネット上に配信する。水位変動に伴う斜面安全度の変化は、「水位変動－斜面安全度」曲線で現状リスクを提示する。取得した情報は、インターネットを閲覧可能な環境下ではいつでも水位情報、斜面の安全度などの情報を取得できる環境とした。

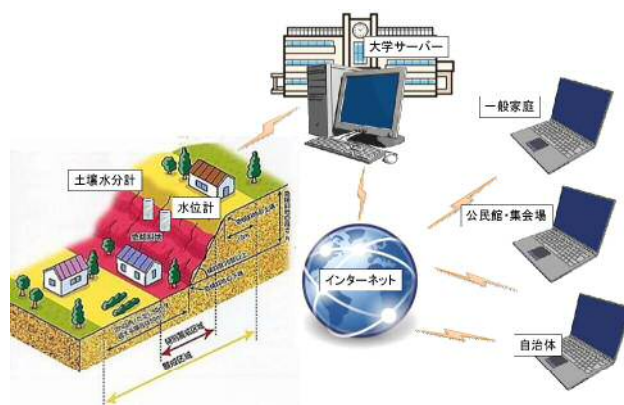


図-4.1 システム概念図

(2) 実験の目的

本実験では、以下のことを検証した。

- 1) 機器の実証実験（静電容量式水位計，水分計）
- 2) 現地盤における適用性の評価
- 3) システムから与える情報に対する住民の認識

(3) 実験地の概要

当該地区では、昭和 40 年代に、急傾斜地崩壊で集落内に土砂が流出した。人的被害はなかったものの、隣接する家屋に土砂が流入するなどの被害を生じている（写真-4.1 参照）。平成 21 年 3 月に石川県から土砂災害警戒区域に指定され、平成 25 年 3 月に能美市が作成した土砂災害ハザードマップによって住民に周知されている（図-4.2 参照）。

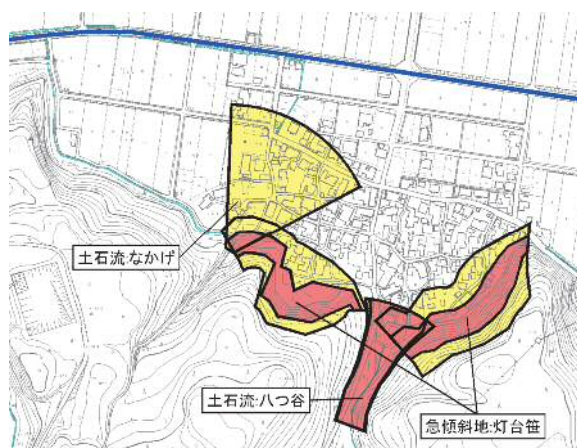


図-4.2 土砂災害警戒区域指定状況

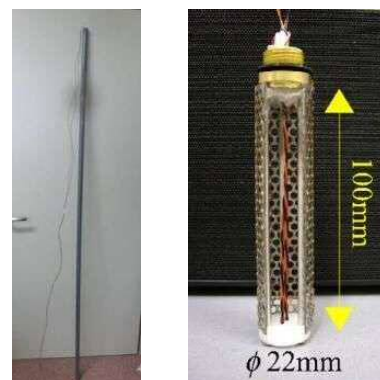


写真-4.1 既往崩壊地の現状

(4) 計測機器の概要

ボーリング孔内に設置した水位計，土壤水分計の概要を示す。

本研究では、上野らが開発している高精度静電容量式の水位計及び水分計を用いた。この水位計，水分計は、土の比誘電率の違いを利用し、静電容量の変化をとらえるものである。従来の機器に比べ、構造が簡便で、安価な機器となっており、一般家庭や数多い土砂災害警戒区域単位で実施することが可能と考えた。



(a) 水位計 (b) 水分計

写真-4.5 水位計と水分計

4.3 実験斜面の安定度評価

(1) すべり線の設定

2 次元地表波探査や動的貫入試験ならびにボーリング調査を実施し、斜面を構成する地盤の土性値を設定した。実験斜面は、擁壁等も設置されており、既往の崩壊斜面で考えられる推定基盤線をすべり線とするような大きな斜面崩壊をイメージするのは極めて困難であるため、最上層の dt 層内で擁壁天端から上方で発生する円弧滑りによる崩落から上方進展するこ

とを想定して、解析することとする。その際の、円弧イメージならびに水位計位置を図-4.3に示す。想定円弧の基準高(0)と水位計先端部での位相差は5cmであり、センサによって計測された水位に5cm加えたものが計測水位となる。

(2) 斜面安定解析方法と結果

斜面の安定解析法にはいくつかの方法があるが、本研究では、道路土工の各指針でも一般的に用いられる修正簡便法(修正フェレニウス法)で行うこととした。

解析は、水位を少しずつ変化させ、その際の安全率との関係を図-4.4のように表すことで、システムが表示した水位と斜面リスクが評価できるものである。

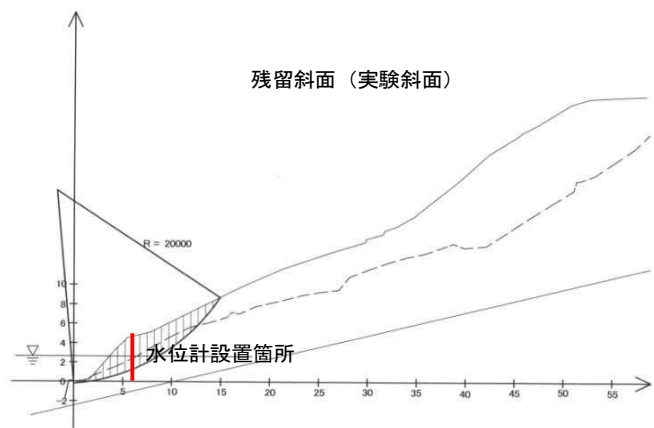


図-4.3 想定円弧

表-4.1 安全率と避難情報の関係

安全率	避難情報レベル
$1.5 \leq F_s$	安全
$1.2 \leq F_s < 1.5$	避難準備
$1.0 \leq F_s < 1.2$	避難勧告
$F_s < 1.0$	避難指示

実際に住民に向けた情報提供では、安全率を提示しても、その意味を理解してもらうなどの必要が生じるため、図-4.5のように水位と危険度の関係を直接判断できる避難情報レベルのグラフを提示することとする。

4.4 取得データの概要と信頼性

2014年4月に実験地にセンサを設置し、継続的にデータの取得を行っている。

太陽電池による電源供給が追いつかず、欠測も見られるが、主なデータ取得状況と、同時期の雨量との関係を整理したが、紙面の関係上、10月のデータのみ掲載する(図-4.6参照)。

センサによって取得された情報として、水位変動に伴う静電容量の変化および温度情報が取得され、現場における実測水位、温度キャリブレーションの結果を整理して換算式(2)を設定し、水位計先端からの水位を算出し、式(3)で円弧原点との位相差50mmを加えることで、円弧原点からの水位に換算する。

$$h = (ch3 - ch4) \times 0.0053495547 + 1100 \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

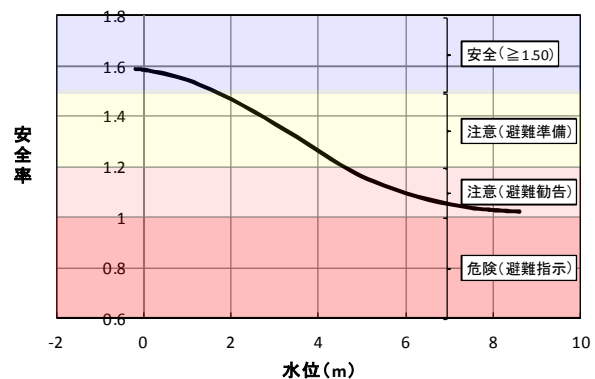


図-4.4 水位-安全率曲線

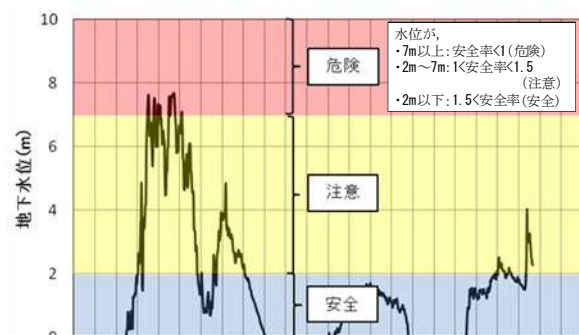


図-4.5 水位と斜面リスク

$$h = \{(ch3 - ch4) \times 0.0053495547 + 1100\} - 50 \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

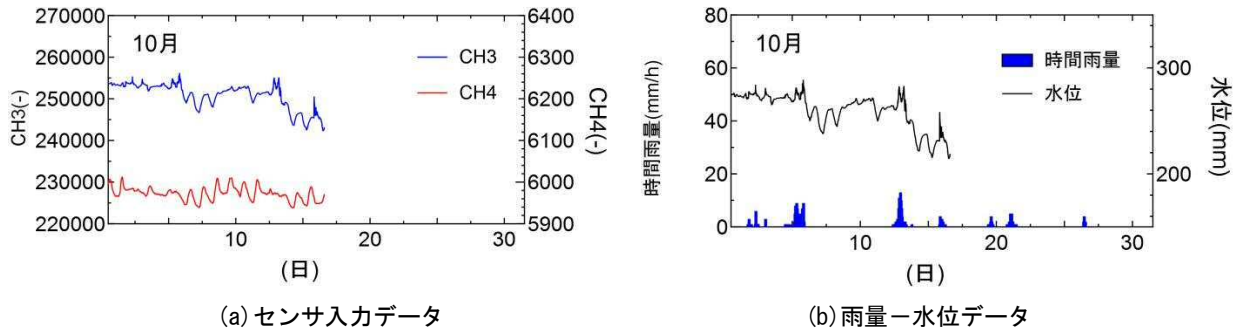


図-4.6 平成 26 年 10 月観測データ

5. 結論

本研究の結果，以下のことが明らかとなった．

1) 住民の避難行動の意思決定基準

- ・避難しなかった住民の 6 割，回答全体の 3 割の住民が，災害など起きないと考え，正常化の偏見が住民の避難行動を抑制していたことが確認された．
- ・避難するための条件（情報）として，警戒区域情報等の周辺危険度，降雨時の災害リスクの変動などを求めている．
- ・避難情報の早期発令では，冠水等で逃げられなかった方(3.6%)程度しか効果がない．

2) 市町村の情報発令判断の課題

- ・土砂災害警戒情報は有効な判断材料と認識しているが，現状とのかい離が大きく，実際の活用度は低い．
- ・自らのパトロール，住民からの通報を優先的な判断材料としていることが，避難情報が遅れる大きな要因と考えられる．一方，パトロール等の情報収集能力には限界もあり，効率的なローカル情報の収集手段を求めている．

3) 土砂災害リスク情報システムの検証

- ・当該実験地（高位段丘層）では，水位変動が比較的敏感に補足され，水位計の有効性が確認できた．
- ・実験地の住民に対する防災勉強会で地域の土砂災害リスクおよびその発生メカニズムを説明．勉強会前後にアンケートを行った結果，当該システムによる情報を避難判断情報とする認識が増加した．

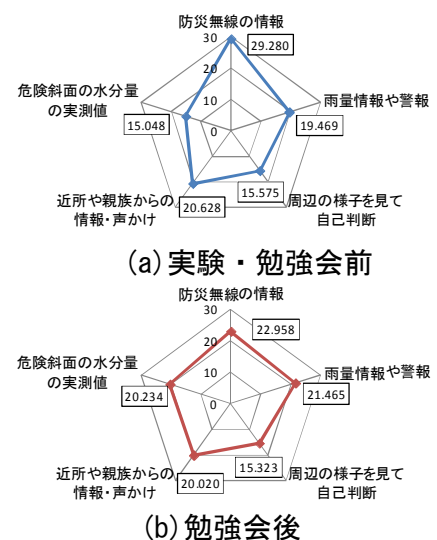


図-5.1 灯台笹町アンケート結果

実験地におけるアンケートで，当該システムが防災意識の向上に効果があったことは明らかである．当該システムが，安価で供給することが避難率の向上につながるものと確信する．

平成 27 年 1 月 27 日

学位論文審査報告書（甲）

1. 学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

土砂災害におけるリスクコミュニケーションの脆弱性とリスク可視化技術に関する研究

2. 論文提出者 (1) 所 属 環境科学 専攻

(2) 氏 名 いしづか ひさゆき
石塚 久幸

3. 審査結果の要旨（600～650 字）

本学位申請論文に関し、第 1 回審査委員会を開催し審査方法を決定するとともに、論文の内容について検討した。さらに、平成 27 年 1 月 27 日に行なわれた口頭発表後に第 2 回審査委員会を開き、協議の結果、以下のように判定した。

本論文は、土砂災害における発信情報の脆弱性、受信する住民の意思決定過程の脆弱性を、発信情報のあり方や情報伝達の仕組みなどの観点から、自治体や実際に被災した住民へのアンケート調査によって明らかにするとともに、避難率を向上させるための具体的な方策について考究したものである。アンケート調査の結果、多くの住民が「自己のリスクがどのような状態か」に関する情報を必要としており、自治体は地域特性を考慮した補完データを必要としていることが明らかとなった。そこで本研究では、土砂災害警戒区域を実験フィールドとして、高精度静電容量式の水圧計・水分計を利用した計測システムを構築することにより、土砂災害リスクの変動を可視化する実験を実施し、効果の検証を行った。本研究で得られた成果は、防災工学上の価値が極めて高いと認められることから、本委員会は本論文が博士（工学）に値すると判定した。

4. 審査結果 (1) 判 定 (いずれかに○印) ○合 格 ・ 不合格

(2) 授与学位 博 士 (工 学)